



УДК 681.5

Разработка Scada-модели компрессорной станции магистрального газопровода

Ю.В.ИЛЬЮШИН, О.В.АФАНАСЬЕВА✉*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*

В настоящее время на всех уровнях создаваемых автоматизированных систем управления технологическими процессами используются программируемые технические средства, требующие специфического программного обеспечения в рамках необходимых функциональных задач. Это программное обеспечение должно включать комплекс программных средств, осуществляющих связь с техническими устройствами, и организации «человеко-машинного интерфейса» HMI (Human-Machine Interface) в виде прикладного программного обеспечения АРМов с поставленными задачами связи для лиц, принимающих управленческие решения: операторов, диспетчеров, управленцев. Однако аппаратная архитектура уникальна для каждого конкретного случая, поэтому необходима доработка или создание новой системы управления. Это достаточно трудоемкий процесс. Для упрощения создания таких систем служат SCADA-системы.

Статья посвящена разработке SCADA-компонента для компрессорного цеха магистрального газопровода. Разрабатываемый компонент позволяет отслеживать выбранные оператором характеристики технологического процесса перекачки газа. Разработка выполнена на базе операционной системы Windows и интегрированной среды TRACE MODE (SCADA/HMI).

Ключевые слова: анализ; наблюдение; компрессорный цех; управление; газ

Как цитировать эту статью: Ильюшин Ю.В. Разработка Scada-модели компрессорной станции магистрального газопровода / Ю.В.Ильюшин, О.В.Афанасьева // Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 686-693. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.686

Введение. Автоматизация рабочих мест – это не единственное, но, возможно, главное направление научно-технического прогресса [4, 10]. Автоматизация способствует повышению эффективности производства и исключению различных ошибок при работе с колоссальными объемами информации. С каждым годом наращивает темпы автоматизация промышленного производства, усложняются технологические процессы, увеличивается единичная мощность различных отдельных агрегатов и установок, повышаются требования, связанные с безопасностью труда, персонала и окружающей среды, а также продлеваются сроки службы ответственного оборудования. Безопасная, бесперебойная, надежная и экономичная эксплуатация компрессорных станций может быть обеспечена лишь с помощью совершенных способов и технических средств управления. Одним из основных принципов создания автоматизированных систем управления является создание SCADA-компонентов, предназначенных для автоматизации конкретного агрегата и производственного цикла.

При рассмотрении компрессорных станций перекачки газа для исключения человеческой ошибки остро встает вопрос создания систем управления и контроля компрессорных агрегатов – SCADA-компонентов.

Постановка задачи. При рассмотрении конкретных магистральных газопроводов в настоящее время создаются унифицированные, комплексные SCADA-системы. Такие системы сделаны максимально универсальными. Но, тем не менее, они требуют доработки для конкретного элемента системы [1, 5, 6]. Одним из самых уязвимых элементов такой системы является компрессорный цех. Это связано, главным образом, с зависимостью агрегатов не только от перекачиваемого сырья, но и от его химического состава. Разработка SCADA-компонента компрессорного цеха обеспечивает получение доступа к выходным и входным данным компрессорного цеха, таким как наличие газа в магистральном газопроводе, объемы расхода газа на выходе компрессорного цеха, давление газа на определенных участках газопровода и на выходах газоперекачивающих агрегатов, температура газа на входе (выходе) охладителя газа. Рассмотрим упрощенную схему (рис.1) газокомпрессорной системы (ГКС).

Газокомпрессорная система работает в сезон закачки газа в хранилище. Газ (давление 3,0-3,5 МПа) поступает из магистральных газопроводов Новопсков – Аксай-Моздок ($D_y = 1200$ мм), Изобильный – Невинномысск ($D_y = 1000$ мм), затем, минуя охранные краны и входные (7 и 7а), поступает на механическую очистку, состоящую из пяти пылеуловителей (ПУ) и трех фильтр-сепараторов, которые установлены последовательно (производительность в зависимости от давления до 45 млн м³/сут), где проходит очистку от механических и жидких примесей.

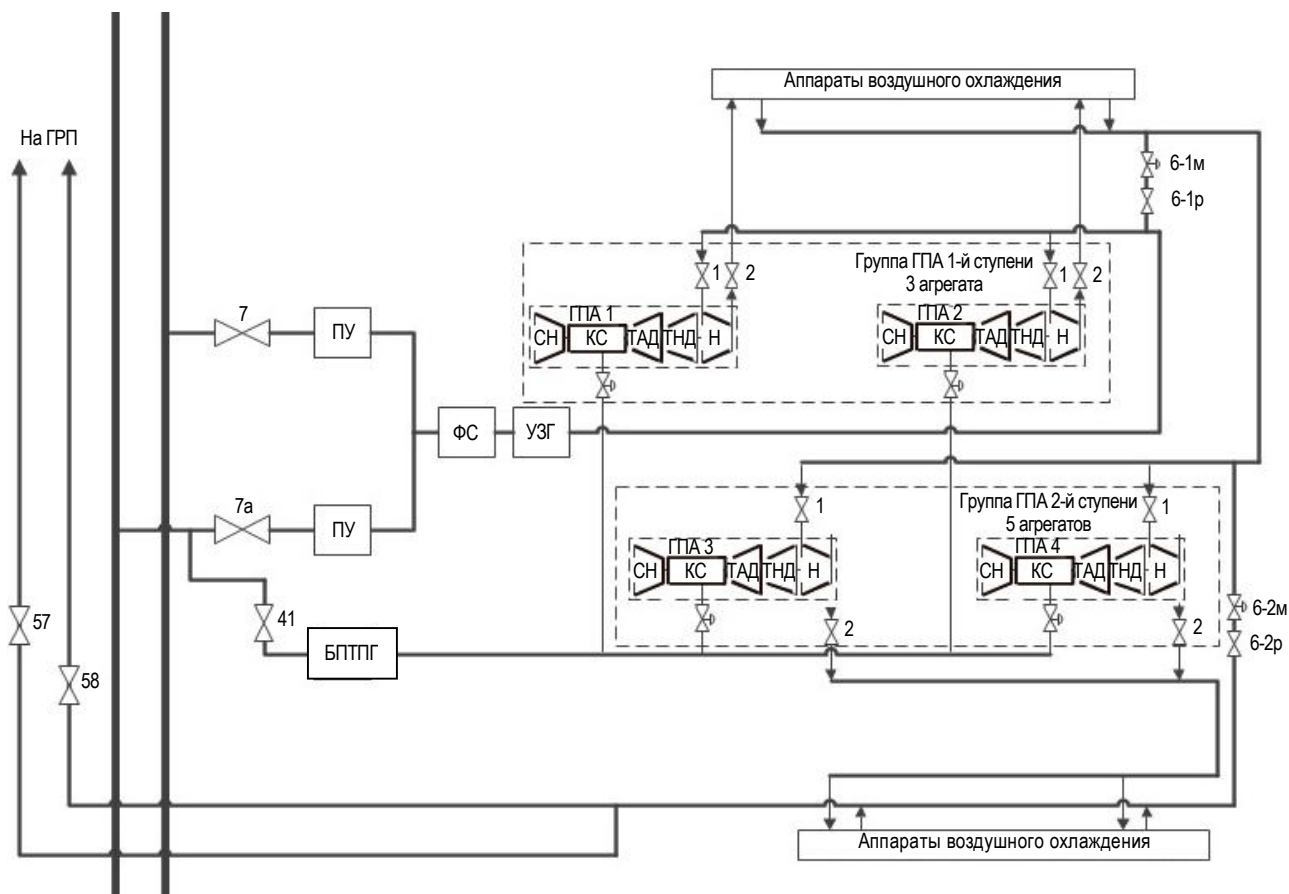


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема ГКС

ГРП – газораспределительный пункт; ПУ – пылеуловители; ФС – фильтры-сепараторы; БПТПГ – блок подготовки топливного и пускового газа; УЗГ – узел замера газа; КС – камера сгорания

После очистки газ поступает во входной коллектор ГПА первой ступени типа ГПА-Ц-6,3 (НЦВ-50/1,45). На первой ступени газ сжимается до 4,5-5,1 МПа, охлаждается до температуры 30-40 °С на аппаратах воздушного охлаждения газа (АВО) и подается на входной коллектор второй ступени.

На второй ступени (5 ГПА типа ГПА-Ц-6,3 (НЦВ-100/2)) газ сжимается до 8,0-12,5 МПа, охлаждается до температуры 38-42 °С на АВО газа.

Охлажденный газ по напорным коллекторам поступает на ГРП, через который осуществляется распределение по скважинам и закачка газа в пласт [4, 11, 12].

При автоматизации процесса транспортировки газа структура системы должна быть строго иерархической [2, 3, 6, 7]. На верхней ступени стоит задача транспортировки нужного объема газа с обеспечением исполнения технологического процесса с максимально возможной эффективностью. На более низком уровне иерархической структуры будет решаться задача управления разнообразными исполнительными механизмами, т.е. более локального плана. На верхнем уровне одной из задач является определение требуемых объемов транспортировки газа. Исходя из предоставляемых системой решений данной задачи, определяется необходимое задание мощности транспортировки. За выполнение данной задачи отвечает главный диспетчер, который выносит решение на основе информации о количестве транспортируемого газа в прилегающих к станции магистральных газопроводах, а также потребности в газе населения. Данный уровень управления выдает значение, которое будем использовать в нашей системе как задающее.

Уровень компрессорной станции осуществляет управление посредством распределения мощностей между группами компримирования с целью обеспечения максимально возможной эффективности работы компрессорных агрегатов. Этот уровень иерархической структуры выполняет следующие задачи:



- подготовка различных типов газа (топливного, пускового);
- физическое подключение магистрального газопровода и компрессорного цеха;
- управление частотами вращения турбин газоперекачивающих агрегатов;
- правильное распределение нагрузки между газоперекачивающими агрегатами;
- цеховое регулирование.

На каждой ступени иерархической структуры ставятся свои задачи управления и их решение позволяет выработать требования для перехода к более низкому уровню иерархии. Однако качество работы всей системы зависит от решения задач, поставленных на самом низком уровне, поэтому нельзя пренебрегать обеспечением устойчивой работы всех уровней структуры, в том числе и локальных объектов управления в составе газоперекачивающих агрегатов [6]. Именно поэтому рассмотрение функциональной схемы компрессорного цеха мы начнем с локальных объектов управления.

Методика решения. Газоперекачивающие агрегаты типа ГПА-Ц-6.3 – блочные, комплектные автоматизированные установки с газотурбинным авиационным приводом НЦВ-50/1,45 мощностью 6,3 МВт – предназначены для транспортирования природного газа по магистральным газопроводам, а также их можно использовать на дожимных компрессорных станциях в качестве элемента управления, осуществляющего закачку жидкости в пласт.

Газоперекачивающий агрегат является унифицированным и в зависимости от конструкции проточной части нагнетателя может быть использован при конечном давлении 5,6 (56) МПа. Агрегат обеспечивает нормальную работоспособность при температуре окружающего воздуха от 233 до 318 К (от –40 до 45 °С).

Сжимаемый газ – природный, некоррозионный, взрывоопасный. Состав и термодинамические свойства расчетного природного газа приведены в ГОСТ 54404-2011. Запыленность газа, поступающего в нагнетатель, не должна превышать 5 мг/м³, размер механических частиц – не более 40 мкм.

Максимальная влажность соответствует состоянию насыщения при отсутствии капельной влаги. Температура газа на всасывании от 233 до 318 К (от –40 до 45 °С).

Тип компрессора – двухступенчатый центробежный нагнетатель с вертикальным разъемом, спроектированный для параллельной работы в группе или для одного агрегата. Основные параметры нагнетателя приведены в ГОСТ 54404-2011.

Перекачиваемый газ по газопроводу через всасывающий патрубок поступает на вход двухступенчатого центробежного нагнетателя, где он сжимается и выбрасывается через нагнетательный патрубок в магистральный газопровод.

В качестве привода нагнетателя используется стационарный газотурбинный двигатель НЦВ-50/1,45 авиационного типа, работающий на перекачиваемом газе. Двигатель выполнен по двухвальной схеме со свободной силовой турбиной.

Очищенный в воздухоочистительном устройстве агрегата воздух поступает в осевой компрессор двигателя, где он сжимается и поступает в камеру сгорания. Одновременно в камеру сгорания через рабочие форсунки подается топливо (природный газ). Из камеры горячие газы направляются на лопатки турбины компрессора, а затем по газопроводу – на силовую турбину.

Мощность турбины компрессора расходуется на вращение самого компрессора и приводов агрегатов, а мощность силовой турбины – на привод ротора нагнетателя и привод ее агрегатов. Механическая связь между силовой турбиной и ротором нагнетателя осуществляется через полый торсионный вал. Отработанные газы через улитку, выхлопное устройство и шумоглушитель выхлопа выбрасываются в атмосферу. Агрегат снабжен различными вспомогательными системами, обеспечивающими надежность его работы при установке на открытых площадках и температуре окружающего воздуха от 233 до 318 К (от –40 до 45 °С) [8-10].

Для разработки SCADA-компонента выбранной компрессорной станции магистрального газопровода важно определить ее внутренние инфраструктурные связи между отдельными компонентами. Для этого необходимы представления ее макро- и микроструктур. Макроструктура для выбранной компрессорной станции КС-17 сообщает о глобальных процессах, протекающих на рассматриваемом участке магистрального газопровода. По узлам микроструктуры можно определить выходные величины, а по ним – и технологическое устройство рассматриваемой КС-17. По полученной информации составляется технологическая и функциональная схема.

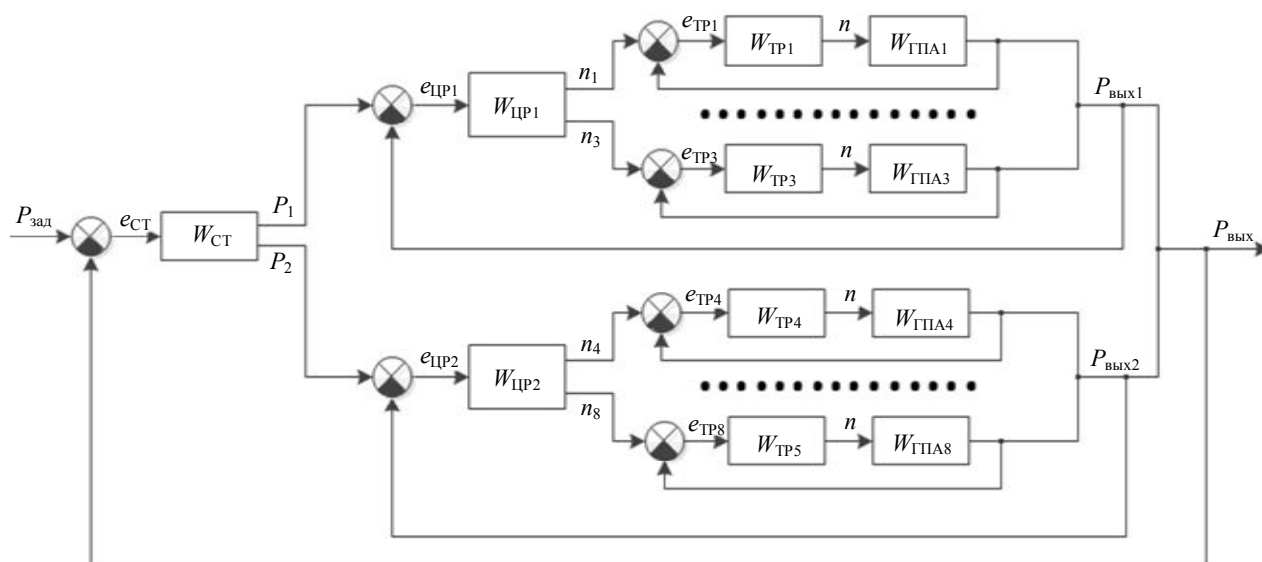


Рис.2. Структурная схема компрессорной станции

Технологическая схема – это приведенный к единому стандарту документ, содержащий сведения, инструкции, используемый персоналом организации, выполняющей определенный технологический процесс или техническое обслуживание какого-либо технологического объекта.

Синтез каскадного регулятора. В управлении компрессорной станцией можно выделить несколько отличительных особенностей:

- Непрерывность технологического процесса.
- Запаздывание во времени. Компрессорный цех производит закачку сжимаемого газа в часть газопровода, которая имеет характеристики интегрального звена с насыщением и большим запаздыванием. Данный факт негативно сказывается на качестве регулирования, реакция на управляющее воздействие может проявляться через продолжительный период времени.
- Распределение нагрузки между агрегатами. Различают три схемы работы компрессорного цеха: параллельно, последовательно и последовательно-параллельно. В нашем случае используется последовательно-параллельная работа цеха, которая характерна для подземных хранилищ газа, так как требуется высокая степень сжатия.

Структурная схема компрессорной станции приведена на рис.2. Рассмотрение структурной схемы системы регулирования начнем с внутреннего контура. Объектом управления является газоперекачивающий агрегат, который посредством нагнетателя повышает давление. Если рассматривать принцип работы упрощенно, то можно сказать, что регулирующим органом в данном случае будет топливно-регулирующий клапан, степень открытия которого влияет на количество топлива, поступающего в камеру сгорания ГПА, что непосредственно влияет на обороты нагнетателя, а значит, и на изменение давления в выходном контуре.

Принципиально представленные ГПА между собой ничем не отличаются, т.е. они имеют одинаковые характеристики, математические модели, а следовательно, и регуляторы.

Внутренний контур будем рассматривать как совокупность топливного регулятора и ГПА, так как управление этими объектами осуществляется в САУ ГПА.

Прежде чем приступить к непосредственной идентификации объекта управления, необходимо сформировать входной и выходной массив данных. В первую очередь определим функциональную зависимость между процентом открытия топливно-регулирующего клапана и увеличением оборотов турбины низкого давления. Данные, используемые для идентификации объекта, сняты с рабочих характеристик турбины ГТК-10И.

Входными данными для нашей системы является положение турбинного регулировочного клапана (ТРК), выходными – обороты турбины низкого давления (ТНД).

Для построения идентификационной модели воспользуемся графической интерактивной программой IDENT, входящей в состав пакета System Identification Toolbox ППК Matlab.



В качестве алгоритма идентификации взят алгоритм авторегрессии. Для характеристики степени адекватности модели объекту выберем среднеквадратичный критерий, в соответствии с которым ищутся такие оценки параметров, которые обеспечивают минимальный средний квадрат разности выходных сигналов модели и объекта при одном и том же входном воздействии [13]. Авторегрессионная модель описывается следующим уравнением:

$$A(q)y(n) = B(q)u(n) + e(n),$$

где $A(q) = 1 + \sum_{i=1}^n a_i q^{-i}$, $B(q) = \sum_{i=1}^n b_i q^{-i}$, $e(n)$ – помеха.

На основе проведенной идентификации получим передаточную функцию, связывающую степень открытия ТРК с увеличением скорости ТНД:

$$W(s) = \frac{k}{(1 + T_{p1}s)(1 + T_{p2}s)}.$$

Подставив численные значения, получим следующую передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{3}{95s^2 + 25s + 1}.$$

Полученная модель была проверена на стендовых испытаниях, проведенных в Научно-производственной фирме «Система-Сервис».

Для рассматриваемого объекта звено, обеспечивающее нужную коррекцию линейной амплитудной характеристики (ЛАХ), должно иметь передаточную функцию (ПФ) следующего вида:

$$W_{\text{кор}} = \frac{K_{\text{кор}}(\tau_{\text{кор}}s + 1)}{s}$$

или

$$W_{\text{кор}} = \frac{K_{\text{кор}}(\tau_{\text{кор}1}s + 1)(\tau_{\text{кор}2}s + 1)}{s}.$$

Рассмотрим передаточные функции, соответствующие ПИ- и ПИД-регуляторов:

$$W_{\text{кор}} = \frac{K_{\text{кор}}}{s} + K_{\text{кор}}(\tau_{\text{кор}1} + \tau_{\text{кор}2}) + K_{\text{кор}}\tau_{\text{кор}1}\tau_{\text{кор}2}s$$

или

$$W_{\text{кор}} = \frac{K_{\text{интег}}}{s} + K_{\text{проп}} + K_{\text{диф}}s;$$

$$K_{\text{интег}} = K_{\text{кор}};$$

$$K_{\text{проп}} = K_{\text{кор}}(\tau_{\text{кор}1} + \tau_{\text{кор}2});$$

$$K_{\text{диф}} = K_{\text{кор}}\tau_{\text{кор}1}\tau_{\text{кор}2}.$$

Коэффициенты усиления регулятора $K_{\text{проп}}$, $K_{\text{интег}}$, $K_{\text{диф}}$ представлены в передаточных функциях как постоянные времени τ_1 , τ_2 и коэффициента K , поэтому при настройке регулятора можно различить компоненты, оказывающие влияние на компенсирование полюсов ПФ и быстродействие. Например, можно вначале настроить компенсацию, а после этого постепенно увеличивать коэффициент усиления и тем самым – быстродействие системы до необходимого уровня. Программно регулятор реализуется в виде следующих разностных уравнений:

$$d = \frac{K_{\text{кор}}\tau_{\text{пер}1}\tau_{\text{пер}2}(x_k - x_{k-1})}{\text{cycle}};$$

$$i = i + K_{\text{кор}}\text{cycle} \frac{x_k + x_{k-1}}{2};$$



$$y_k = x_k K_{\text{кор}} (\tau_{\text{per1}} + \tau_{\text{per2}}) + d + i,$$

где x – входной сигнал (ошибка регулирования); y – выход регулятора; индексы k и $k - 1$ соответствуют текущему и предыдущему отсчетам; cycle – длительность цикла вызова управляющей программы.

На установившемся режиме выход регулятора равен интегрирующей составляющей. Поэтому для инициализации регулятора применяется $i = y$.

Регулятор должен обеспечивать переход объекта управления в заданную рабочую точку с погрешностью позиционирования не более 0,5 с и переходные процессы без перерегулирования с временем переходных процессов не более 0,4 с.

Скорость реакции на отклонение управляемой величины от задания зависит от коэффициента усиления пропорциональной составляющей K_p .

Реакция системы на скорость изменения управляемой величины определяется по коэффициенту усиления дифференциальной составляющей K_d : дифференциальная составляющая заработает быстрее, чем пропорциональная, и компенсирует резкое отклонение величины от задания.

При изменении задания точность его обработки определяется интегральной составляющей регулятора.

Передаточная функция регулятора может быть записана в следующем виде:

$$W_{\text{рег}} = K_p + K_d s + K_i \frac{1}{s},$$

где K_p – коэффициент передачи пропорциональной составляющей регулятора; K_d – коэффициент передачи дифференциальной составляющей регулятора; K_i – коэффициент передачи интегральной составляющей регулятора.

Для нашего случая необходимо, чтобы функция приняла следующий вид:

$$W_{\text{рег}} = K_{\text{рег}} \frac{T_{\text{Oy}}^2 s^2 + 2T_{\text{Oy}} \zeta s + 1}{s},$$

где $K_{\text{рег}}$ – общий коэффициент передачи регулятора.

При этом произойдет «исправление» линейной амплитудной характеристики (ЛАЧХ) исходного ОУ, и ЛАЧХ разомкнутой системы с регулятором будет иметь наклон 20 дБ по всей своей длине. В зависимости от значения $K_{\text{рег}}$ эта ЛАЧХ будет перемещаться вдоль оси ординат.

При изменении значения $K_{\text{рег}}$ будут меняться время переходного процесса и величина перерегулирования. Отсюда вытекает подзадача – необходимо найти диапазон значений $K_{\text{рег}}$, при котором будут выполняться требования по времени переходного процесса (не более 0,4 с) и перерегулированию (нулевое). Решение этой задачи найдем экспериментально – проведем моделирование системы с регулятором при различных значениях $K_{\text{рег}}$ в пакете Simulink.

Численный пример. Схема моделирования системы с регулятором приведена на рис.3, а график переходной функции – на рис.4.

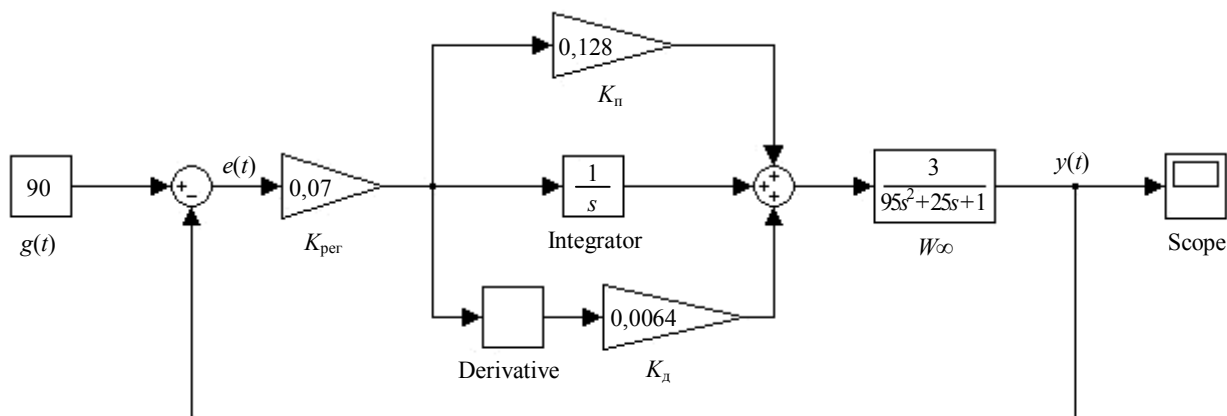


Рис.3. Схема моделирования скорректированной системы

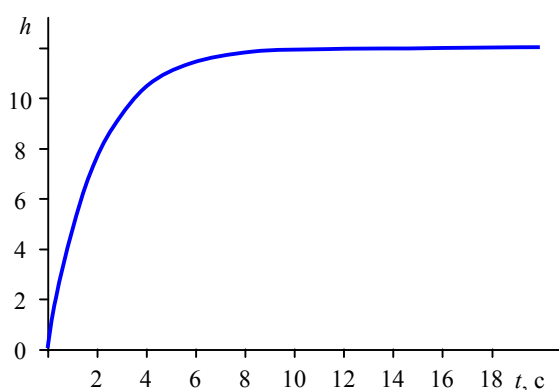


Рис.4. Переходный процесс скорректированной системы

h – значение функции в зависимости от времени t

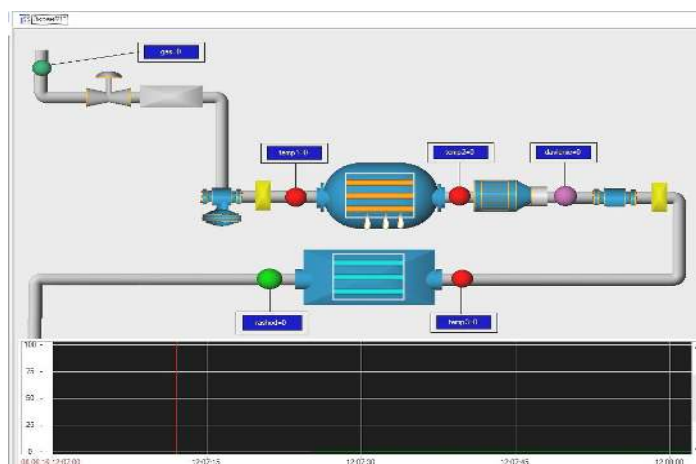


Рис.5. Главный экран проекта

Таким образом, полученная система показывает переходный процесс с учетом всех возмущающих воздействий.

Для разработки графического интерфейса АРМ воспользуемся графическим редактором интегрированной среды разработки. В соответствии с функциональной схемой компрессорной станции составим общий экран вывода информации по датчикам. При разработке графической части системы можно воспользоваться встроенной библиотекой графических элементов, которую необходимо переместить из папки с программой в папку «C:\ProgramData\AdAstra\TraceModeIDE6\ tmdevenv.tmul». Полученный результат представлен на рис.5.

После изучения всех связей между элементами системы и выделения всех необходимых для входной и выходной информации каналов можно приступать к разработке программ, по которым эти элементы будут работать в среде Trace Mode.

Затем после компиляции и прописывания значений по умолчанию для аргументов программы запускаем цикл на исполнение на неопределенное количество раз для проверки работоспособности программного кода.

Таким образом, разработка программного комплекса по управлению насосно-компрессорной станцией перекачки газа выполнена.

Обсуждение. Для современного развития газовой отрасли в России характерны не только быстрый рост объемов производства, который обусловлен потребностью в природном газе внешнего и внутреннего рынка, но и реконструкция функционирующих газовых промыслов. Автоматизация газодобывающих установок как низших звеньев в структуре управления Единой системы российского газоснабжения является мощным стимулом увеличения качества продукции и надежного газоснабжения потребителей.

Для усовершенствования и введения новейшего газопромыслового оборудования и ввода в разработку исследованного месторождения важным является снабжение комплексными автоматизированными системами управления (АСУ). Осуществление обновления технологических аппаратов и ввод АСУ на газовых промыслах технологическими процессами (ТП) объясняется высоким спросом к качеству природного газа для его транспортирования и повышением надежности технологического оборудования из-за непрерывной организации производства, а также тенденцией к улучшению режимов деятельности скважин и установок комплексной подготовки газа (УКПГ).

Заключение. Проведенные исследования показали важность развития прикладных способов моделирования и управления различными процессами, востребованными в газовой промышленности. Практическая ценность результатов заключается в полученных математических моделях, которые позволяют осуществлять прогноз поведения комплекса при меняющихся параметрах, определяющих режимы работы системы.

Полученный в результате работы SCADA объект компрессорного цеха является универсальным и может быть применен для объектов с идентичными параметрами.



Однако использование данного компонента имеет ряд своих ограничений, которые связаны с поправочными коэффициентами, полученными в процессе синтеза передаточной функции. Вместе с тем полученный компонент выполняет поставленную задачу по моделированию и управлению компрессорным цехом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галкин А.Ф. Комплексное использование теплообменных выработок // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 209-214. DOI: 10.18454/PMI.2017.2.209
2. Грязев М.В. Математические модели аэрогазодинамических и теплофизических процессов при подземной добыче угля на различных стадиях обработки месторождений / М.В.Грязев, Н.М.Качурин, С.А.Воробьев // Записки Горного института. 2017. Т. 223. С. 99-108. DOI: 10.18454/PMI.2017.1.99
3. Ильющин Ю.В. Метод управления температурным полем на основе функции Грина / Ю.В.Ильющин, И.М.Першин // Записки Горного института. 2015. Т. 214. С. 57-70.
4. Ильющин Ю.В. Разработка импульсного управления температурным полем буровых шнеков добычи горячей минеральной воды Кисловодского месторождения нарзана / Ю.В.Ильющин, В.Е.Трушников // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 2. С. 172-181.
5. Kazanin O.I. Numerical study of the air-gas dynamic processes when working out the Mosshny seam with longwall faces / O.I.Kazanin, A.A.Sidorenko, Y.G.Sirenko // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. № 13(4). P. 1534-1538.
6. Kazanin O.I. Substantiation of the technological schemes of intensive development of gas-bearing coal beds / O.I.Kazanin, A.A.Sidorenko, E.A.Vinogradov // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. № 12(7). P. 2259-2264.
7. Kolesnikov A. Nonlinear Oscillations Control. Energy Invariants // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2009. № 48(2). P. 185-198. DOI: org/10.1134/S1064230709020038
8. Kolesnikov A. Discharge of a Copper-Magnesium Galvanic Cell in the Presence of a Weak Electromagnetic Field / A.Kolesnikov, Ya.Zaremba, V.Zaremba // Russian Journal of Physical Chemistry. 2007. № 81(7). P. 1178-1180. DOI: org/10.1134/s003602440707031x
9. Pleshivtseva Y. The Successive Parameterization Method of Control Actions in Boundary Value Optimal Control Problems For Distributed Parameter Systems / Y.Pleshivtseva, E.Rapoport // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2009. № 48(3). P. 351-362. DOI: org/10.1134/S1064230709030034
10. Rapoport E. Structural Parametric Synthesis of Automatic Control Systems with Distributed Parameters // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2006. № 45(4). P. 553-566. DOI: org/10.1134/S1064230706040071
11. Sidorenko A.A. Influence of face advance rate on geomechanical and gas-dynamic processes in longwalls in gassy mines / A.A.Sidorenko, Yu.G.Sirenko, S.A.Sidorenko // Eurasian Mining. 2018. № 1. P. 3-8. DOI: 10.17580/em.2018.01.01
12. Structuring of Inorganic Materials in Weak Rf Electromagnetic Fields / V.Zaremba, O.Kiseleva, A.Kolesnikov, N.Burnos, K.Suvorov // Inorganic Materials. 2004. № 40(1). P. 86-91. DOI: org/10.1023/B:INMA.0000012184.66606.59
13. Zaremba V. Background Resonant Acoustic Control of Heterophase Processes / V.Zaremba, A.Kolesnikov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2006. № 40(5). P. 483-495. DOI: org/10.1134/s0040579506050058

Авторы: Ю.В.Ильющин, канд. техн. наук, доцент, ilyushin_y@bk.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), О.В.Афанасьева, канд. техн. наук, доцент, ovaf72@gmail.com (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 15.04.2019.

Статья принята к публикации 17.09.2019.